Neue Untersuchungen über das Tiefen- und Ebenensehen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

genehmigt von
der philosophischen Fakultät der
Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Berlin

von

Ernst Lau
aus Berlin

Tag der Promotion 13. August 1921

1921
Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig

596

Referenten:
Geh. Rat Prof. Dr. Stumpf.
Geh. Rat Prof. Dr. Riehl.

Die Arbeit erscheint auch in der *Zeitschrift für Sinnesphysiologie* Bd. 53.

Einleitung und Überblick.

Der erste Teil der vorliegenden Arbeit ist einer Nachprüfung der Heringschen Theorie des Tiefensehens gewidmet. Er sucht eine exakte experimentelle Bestätigung des Satzes: daſs die Reizung korrespondierender oder identischer Stellen der Netzhäute einen Kernebeneneindruck ergibt. Diese experimentelle Bestätigung gelingt für kleine Sehwinkel. Gleichzeitig ergeben sich aus dem Gang der Untersuchungen einige Erweiterungen der Heringschen Theorie.

Der zweite Teil beschäftigt sich mit dem Horopterproblem. Helmholtz hatte einige Besonderheiten bei der Einstellung dreier Stäbe in eine Ebene entdeckt, die ihm Anlaſs gaben anzunehmen, daſs die Raumwerte der Netzhautstellen nicht konstant seien. Hillebrand[1] hat diese Beobachtungen durch mathematische Behandlung des Problems so aufgeklärt, daſs diese Horopterbeobachtungen Helmholtz' umgekehrt eine interessante Bestätigung der Heringschen Theorie des Tiefensehens geworden sind. Er hatte dabei auch einige empirische Studien zur Bestätigung seiner Theorie unternommen. Die vorliegende Arbeit fügt ergänzend den experimentellen Nachweis hinzu, daſs die Theorie auch trotz der Einwände, die man nach dem Stande unserer Kenntnisse

[1] *Zeitschr. f. Psychol.* 5, S. 1. 1893.

noch erheben kann, gilt. Einwände könnten sich aus den Tschermakschen [1] Arbeiten ergeben. Er hat verschiedene Ebeneneinstellungen bei fallenden Tropfen und hängenden Loten konstatiert. Auch die Phänomene der scheinbaren Gröfse könnten für Helmholtz sprechen. Für die Beobachtungen Tschermaks ergaben sich übrigens im Laufe unserer Versuche interessante Aufklärungen.

In dem letzten Teil wird einmal von der Fragestellung abgegangen: Wie ist der Horopter bei symmetrischer Augenstellung. Wir fragen: wie ordnen wir eine Reihe von Stäben in eine scheinbare frontale Ebene bei bewegten Augen. Auch hier können wir die bisherigen Kenntnisse erweitern und einige überraschende psychologische Tatsachen nachweisen.

Ich danke an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. Rupp (R.), der mich auf den Problemkreis aufmerksam gemacht hat und meine Arbeiten mit regstem Interesse unterstützt hat. Den Dank an meine Vpn. Herrn Dr. v. Allesch (A.), cand. phil. Bandmann (B.), Fräulein A. Huckriede (H.), Herrn stud. med. Kämmerer (K.), Herrn Dr. phil. Kühn (Kü.) möchte ich an dieser Stelle gleich anschliefsen. In der Arbeit werden die Vpn. nur mit den beigefügten Abkürzungen zitiert.

I. Teil.

Experimentelle Bestätigung der Heringschen Theorie des Tiefensehens.

A. Die erste Versuchsanordnung.

Die erste fundamentale Frage, die zu beantworten ist, ist die: liefert uns die Reizung identischer Punkte wirklich einen Kernebeneneindruck. Die Versuche hierüber wurden mit Hilfe des bekannten Heringschen Haploskops [2] angestellt. Dieses Instrument ist z. B. in der Hillebrandschen Arbeit 1893 (s. o.) geschildert worden, ebenso haben Hofmann [3], Jaensch [4] und Rupp [5]

[1] *Pflügers Archiv für die ges. Physiologie* 81, S. 328. 1900.

[2] Hermans Handbuch der Physiol. III 1, S. 393 ff.

[3] Hofmann, Raumsinn des Auges in Tigerstedts Handbuch der physiologischen Methodik. III. Bd., Abt. II, S. 152.

[4] *Zeitschr. f. Psychologie.* Ergänzungsband 6, S. 6 ff. 1911.

[5] Katalog Spindler und Hoyer, Göttingen. Apparate für psychologische Untersuchungen 1908.

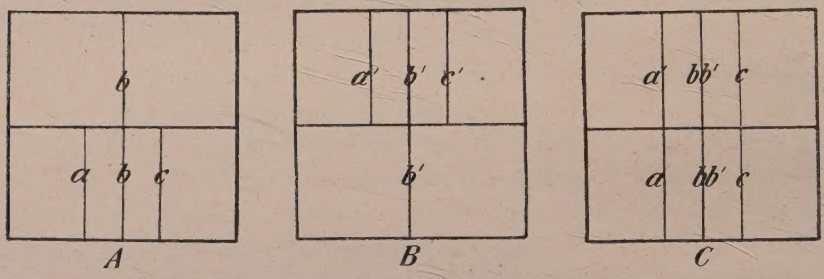
dasselbe neuerdings geschildert. Wir geben hier nur eine schematische Darstellung dieses Instruments.

Das Heringsche Haploskop ist prinzipiell weiter nichts als ein Wheatstonesches Stereoskop, bei dem die Konvergenz der Augen beliebig eingestellt werden kann. In 3 cm Entfernung vom rechten und linken Auge befindet sich je ein kleiner Spiegel. Diese Spiegel sind auf zwei Schienen angebracht, die aufserdem noch je einen Rahmen enthalten. Diese Schienen sind um Punkte drehbar, die genau unter dem Drehpunkt des Auges liegen. Die Spiegel bilden einen Winkel von 45° mit der Blicklinie der Augen, die so auf die Mitten der Rahmen schauen. Dreht man die Schienen in einer Horizontalebene, so bleibt das Lageverhältnis von Spiegel, Rahmen und Auge konstant. Die Augen müssen dabei nur eine Drehung ausführen, d. h. ihre Konvergenz ändern. Der Konvergenzgrad ist auf dem Apparat leicht ablesbar. Die Rahmen können auf den Schienen hin- und hergeschoben werden; damit ändert man die Entfernung des Bildes von den Augen. Auf jedem der Rahmen sind 3 vertikale Fäden anzubringen. Der Mittelfaden auf den Rahmen ist unbeweglich. Die rechten und linken Fäden eines jeden Rahmens können seitlich oder schräg bewegt werden, so dafs die Bilder der Fäden in beliebiger Weise variiert werden können. Das Verschieben der Seitenfäden erfolgt mit Hilfe von Mikrometerschrauben. Die Verschiebungen sind mit Hilfe eines Nonius auf $^5/_{100}$ mm abzulesen. Betrachtet man wie wir in unseren späteren Versuchen nur die Mitte der Fäden und variiert die Seitenfäden entweder nur oben oder unten, so können Verschiebungen der Mitte der Seitenfäden von $^{25}/_{1000}$ mm noch gut abgelesen werden.

Für uns handelt es sich darum: wie gestalten wir den Apparat um, so dafs wir feststellen können: sind die Punkte, die uns in einer Ebene erscheinen, wirklich auch korrespondierend oder identisch. Zunächst wurden einige Versuche angestellt mit einer Versuchsanordnung, die von Herrn Prof. Dr. Rupp[1] vorgeschlagen wurde. Auf dem unteren Gleitschlitten des rechten Rahmens wurden zwei Fadenhalter angebracht, die bis zur Mitte des Rahmens reichten. Dann wurde ein schwarzer Mittelfaden von Frauenhaar vertikal durch den ganzen Rahmen gespannt (siehe

[1] Katalog von Max Marx, Mechanische Werkstättten. Apparate für psychologische Untersuchungen. S. 27. 1913.

Abb. 1A auf S. 4) und rechts und links mittels der Fadenhalter zwei weitere Frauenhaare nur bis zur Mitte. Der linke Rahmen wurde ganz ähnlich ausgestattet, nur wurden die Fadenhalter an den oberen Gleitschlitten befestigt (s. Abb. 1 B). In die Mitte eines jeden Rahmens wurde horizontal vor die Halter ein 1 mm breiter Balken gelegt, der die Enden der Fadenhalter verdeckte. Das vereinigte Bild sah dann aus, wie es Abb. 1 C zeigt. Hinter die Rahmen mufste ein heller Hintergrund gesetzt werden. Das mir zur Verfügung stehende erste Modell dieses Apparates zeigte aber aufser einigen mechanischen Mängeln störende Effekte, die ihn für uns unbrauchbar machte, andererseits uns aber zu Erkenntnissen führten, die eine wichtige Erweiterung der Hering-schen Anschauung zu sein scheinen.



A rechter Rahmen — *B* linker Rahmen — *C* vereinigtes Bild

Abbildung 1.

Wir bezeichnen in der Abbildung die Fäden in der Reihenfolge, wie sie uns im Spiegelbild erscheinen. Man sieht, dafs in dem vereinigten Bild die Mittellinien b b' einfach erscheinen, es tritt Fusion zwischen den beiden Fadenbildern ein. Ebenso erscheint der Mittelbalken einfach. Von oben und unten aber ragen a' c' und a c in das Bild hinein, diese Fäden werden immer nur von je einem Auge gesehen. Der Effekt sollte nun der sein: die Mitte von b b' sollte fixiert werden, dann sollte a' und c' so eingestellt werden, dafs sie genau die Verlängerung von a und c bildeten. War dies der Fall, dann sollten uns die durch diese Linien und die Horizontale gebildeten Schnittpunkte die Deckpunkte der beiden Augen angeben. Wenn man so die korrespondierenden Punkte erst genau bestimmt hatte, dann konnte man hoffen, nachprüfen zu können, ob diese identischen Punkte bei gleichzeitiger Reizung den Kernebeneneindruck lieferten.

B. Versuchsresultate.

Als ich an die Untersuchung heranging, zeigte sich nun aber folgender unerwarteter Effekt. Es ergaben sich ganz verschiedene Resultate für die identischen Punkte, je nachdem, welchen Konvergenzgrad ich einstellte. Die Rahmen wurden in eine Entfernung von 20 cm von den Augen gestellt und auch bei allen Konvergenzgraden so gelassen. Der Faden c für das rechte Auge wurde auf eine Entfernung von 10 mm von der Mittellinie eingestellt. In dem linken Rahmen sollte nun c' in die Verlängerung von c nach Vereinigung der Rahmen zu einem Bilde eingestellt werden. Es ergab sich für c' bei einer Konvergenz von 10° der Abstand 8,4 mm (mV[1] = 0,2 mm) von der Mittellinie, für eine entsprechende Einstellung bei 7° Konvergenz 9 mm mit etwa derselben Streuung, bei 6° 10 mm. Man sieht, die identischen Punkte scheinen sich mit der Konvergenz zu ändern.

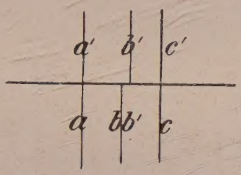


Abbildung 2.

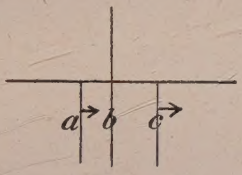


Abbildung 3.

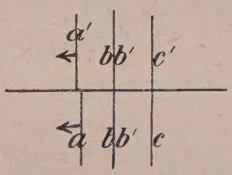


Abbildung 4.

Wäre das wirklich der Fall, dann würde Herings ganze Anschauung aufgegeben werden müssen. Während der Abstand b b' — c konstant bleibt, ändert sich der Abstand b b' — c' bei verschiedener Konvergenz! Herr Prof. Dr. Rupp bestätigte das Phänomen. Bei längerem Zusehen klärte sich aber dieses überraschende Resultat in folgender interessanten Weise auf. Wandte man einen sehr starken Konvergenzwinkel an, so trat für mich der Mittelfaden plastisch vor den Hintergrund, während die Seitenfäden wie schwarze Linien auf dem Hintergrund gezeichnet waren. Ich schloſs daraus, daſs zum Zustandekommen des plastischen Eindrucks die beiden Mittelfäden nicht-identische Punkte gereizt haben müssen. Der Mittelfaden wird offenbar nicht mehr fixiert, sondern Punkte daneben. Zum Beweis dafür wurde folgender kleiner Versuch gemacht: Der obere Teil von b im rechten Rahmen wurde abgedeckt. Es entstand dann bei einer Konvergenz von 12° ein Bild wie Abb. 2. bb' ist infolge

[1] mV = mittlere Variation.

der Querdisparation gegen b', das einfach gesehen wird, verschoben.[1]

Diese Erscheinung ist ein eindeutiger Beweis, daſs bei starken Konvergenzgraden die Blicklinien tatsächlich nicht mehr auf b und b' gerichtet waren, sondern auf Punkte daneben, so daſs zum Zustandekommen des einfachen Bildes von b b' eine Fusion querdisparater Fadenbilder stattgefunden haben muſste. Infolge dieser Fusion ergab sich für den Mittelfaden unter günstigen Umständen bei mir ein deutlich plastisches Hervortreten gegenüber den Seitenfäden, vielleicht ein ähnlicher Effekt, wie bei dem Panumschen Phänomen, wo ja auch nur ein Faden ein Bild in beiden Augen erzeugt, während der zweite lose daneben schwebt, weil er nur auf einer Netzhaut sich abbildet. Herr Prof. Dr. Rupp sah als Vp. dieselbe Erscheinung wie in Abb. 2, allerdings kam der plastische Eindruck nicht zustande. Die scheinbare Abweichung von der Konstanz der Raumwerte, die sich bei unseren Vorversuchen ergeben hat, hat sich somit dahin aufgeklärt, daſs die Mittellinien der Bilder bei starker Konvergenz nicht mehr fixiert wurden. Lieſs man die Konvergenz geringer werden, so trat ungefähr bei einer Konvergenz von 6° bei mir der Fall ein, daſs bei Abdecken der oberen Hälfte des rechten Rahmens b' genau in die Verlängerung von b b' zu fallen schien. Verringerte man die Konvergenz noch mehr, also etwa auf 4°, so wanderte b' auf die linke Seite von b b' hinüber, d. h. es trat bei b b' eine Querdisparation im ungekehrtem Sinne ein. Bei etwa 8° Konvergenz liegt nun aber der Wert der Konvergenz, der der Entfernung des Rahmens von 20 cm von den Augen entspricht. Bei 8° trat aber für mein Auge noch immer der Fall ein, daſs das rechte Auge einen Punkt rechts von b fixierte und das linke Auge einen Punkt links von b'.[2]

---

[1] Die Rollung der Augen wurde durch Drehen der Rahmen kompensiert.

[2] Eine Zeitlang glaubte ich, daſs Helmholtz bereits eine Erfahrung in der physiologischen Optik (S. 650) beschrieben hat, die auf dieselbe Weise zu erklären sei. Sein Versuch ist folgender: Wenn man genau vor der Nase ein Lot hängen läſst und zwischen Lot und Nase ein Blatt Papier aufgestellt wird, so daſs das Lot eben noch von beiden Augen gesehen wird, und wenn man dann mit der rechten Hand auf den Faden schräg nach vorn zustoſsen will mit Hilfe eines Bleistifts, dann stöſst man stets rechts vorbei zu weit nach hinten. Ich habe den Versuch umgebildet, indem ich statt des Lotes senkrecht zu dem Papier eine Pappe mit einem Zielpunkt an

Bei dieser Versuchsanordnung fiel noch ein störendes Kovariantenphänomen auf, das eine besondere Ergänzung zu den Kovariantenuntersuchungen von JAENSCH[1] darstellt. Sah man nur mit einem Auge auf einen Rahmen, etwa auf den rechten, so konnte folgendes beobachtet werden. Waren erst a und c in symmetrischer Lage zu dem Mittelfaden und wurde dann a in der Richtung auf den Mittelfaden b zu bewegt, so sah ich c eine deutliche Scheinbewegung in derselben Richtung ausführen (s. Abb. 3 S. 5). Die Erscheinung trat häufig erst ein, nachdem die Entfernung a—b gröfser war als b—c. Diese Beobachtung, die möglicherweise primär gegenüber den Kovariantenbeobachtungen von JAENSCH ist, schien mir wichtig genug, um sie von einigen Vpn. bestätigen zu lassen. Vp. B. wurde gebeten, an dem Haploskop nur den rechten Rahmen zu betrachten und mir mitzuteilen, welche Fäden sich bewegen. Weitere Aufklärung wurde ihm nicht gegeben. Zuerst sah er nur a sich bewegen, nach kurzer Zeit aber rief er aus: jetzt bewegt sich c in derselben Richtung. c blieb aber objektiv stehen. So bildet seine Aussage eine einwandfreie Bestätigung meiner Beobachtungen. R. erlebte das Phänomen etwas anders. Er schilderte sein Erlebnis wie folgt: „Wird der linke Faden der Mitte genähert, so führt von einer gewissen Stelle an der mittlere Faden eine deutliche Scheinbewegung aus gegen den sich nähernden linken Faden hin, der äufsere bleibt stehen. Der mittlere und linke erscheinen nicht unabhängig voneinander, sondern wie gekoppelt, sie führen eine zusammengehörige, deutlich einheitliche Bewegung aus. Dafs der Abstand zwischen mittlerem und rechtem Faden gröfser wird,

---

der Stelle des Lotes angebracht habe, dann stiefsen meine Vpn. Fräulein H. und Herr K. bei binokularem Sehen ganz, wie man es nach HELMHOLTZ zu erwarten hatte, immer rechts daneben. Nahm man das Papier zwischen Nase und Zielpunkt fort, so stiefsen sie gleich häufig rechts und links daneben. Ich glaubte schon eine analoge Erklärung wie oben heranziehen zu dürfen, als sich herausstellte, dafs auch bei monokularem Sehen dasselbe Phänomen auftrat: verdeckte man das linke Auge und stiefs mit der rechten Hand auf das Ziel zu, so stiefs man stets rechts daneben, solange das Papier zwischen Nase und Ziel stand. Damit fiel meine Deutung um. Es handelt sich offenbar nur darum, dafs von dem Blatt Papier eine Hemmung ausgeht, die am richtigen Zustofsen hindert. Der Versuch ist ein sehr einfaches Schulbeispiel für das Auftreten einer Hemmung. HELMHOLTZ glaubte eine Unsicherheit in der Tiefenwahrnehmung feststellen zu müssen. Dieselbe wird durch obigen Versuch in keiner Weise bewiesen.

[1] *Zeitschr. f. Psychol.* Ergänzungsband 6, S. 6—39. 1911.

wird erst in zweiter Linie erfaſst.“ Das Erlebnis ist meinem und dem von Herrn B. sehr ähnlich, die Abstandsänderungen sind von allen Vpn. gleich beobachtet worden; in erster Linie ändert sich als Wirkung des objektiven Reizes der Abstand a—b, dann erfolgt eine scheinbare Änderung von b—c. Bei R. stand dabei scheinbar der rechte Faden still, während bei B. und mir der mittlere stillstand.

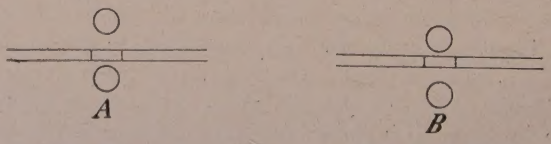
Ein weiteres Phänomen trat sehr störend bei binokularem Sehen auf. Wurde a auf a′ zu bewegt (s. Abb. 4), so versuchte das Auge, den zuerst gesehenen Abstand von a′—a aufrechtzuerhalten, a′ wanderte scheinbar in derselben Richtung und lieſs sich gleichsam nur mit Mühe einholen. War dann endlich a in der Verlängerung von a′, so konnte man sie wiederum nicht auseinanderziehen. a′ machte alle Bewegungen von a mit. Auch dieses Phänomen wurde bei allen Beobachtern in derselben Weise geschildert. Manchmal kam es auch vor, daſs zwischen a′ und a Tiefenunterschiede während dieser Phänomene auftraten.

Alle diese Erlebnisse zwangen uns dazu, zu einer neuen Versuchsanordnung überzugehen, bei der sich die Einstellung der Fäden in eine Linie ohne solche störenden Nebenerscheinungen vollzieht.

C. Die zweite Versuchsanordnung.

Vier Bedingungen muſsten erfüllt werden. 1. Es durfte keine Bildverzerrung durch Fusion der Fixationsreize wie in Abb. 2 auftreten, ein Fusionsanreiz aber muſste da sein, da sonst das Doppelbild nicht genügend Stabilität besaſs. 2. Es muſs ein Indikator sein, der uns abzulesen gestattet, ob wirklich die Bildmitte fixiert wird. 3. Es müssen Marken vorhanden sein, die die identischen Punkte anzeigen. 4. Es muſs alles getan werden, um die Urteilsbildung zu erleichtern, speziell um uns von den immer ablenkenden Kovarianzerscheinungen zu befreien.

Unter verschiedenen Anordnungen bewährte sich folgende am besten:



rechter Rahmen. linker Rahmen.

Abbildung 5.

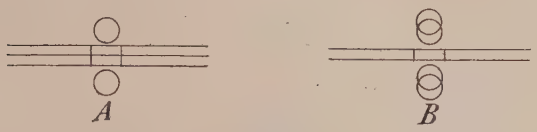


Abbildung 6.

Es wurden diesmal nur zwei senkrechte weifse Frauenhaare gespannt. Die Fäden wurden (Abb. 5 A) auf dem rechten Rahmen durch einen hellgrauen Papierschirm abgedeckt, der in der Mitte einen horizontalen 2 mm breiten Schlitz hatte. In einer Entfernung von 3 mm von der oberen Kante dieses Schlitzes waren darüber und darunter je ein Loch gestanzt. Der linke Rahmen bekam ebenfalls zwei weifse Frauenhaare und darüber wurde ebenso wie auf der rechten Seite graues Papier gespannt, das ebenfalls einen Schlitz von 2 mm Breite enthielt, aber die Löcher über und unter dem Schlitz waren so angeordnet, dafs sie einen Abstand von 3 mm von der unteren Kante erhielten (Abb. 5 B). Wurden die beiden Bilder vereinigt, so entstand Abb. 6 A. Alle vier von uns gestellten Bedingungen wurden durch diese Versuchsanordnung erfüllt. 1. die beiden runden Löcher dienten als Fusionsreiz. Sie gaben so dem Bild die Stabilität. Da sie aber aufserhalb des Schlitzes lagen, trat keinerlei Bildverzerrung in der Nähe der weifsen Frauenhaare ein. Die beiden Schlitze standen so ganz unbeeinflufst durch den Fusionsprozefs übereinander. Die Fäden übernehmen eine doppelte Funktion. Sie erfüllen die Bedingung 2, indem sie uns anzeigen, ob der Fixationspunkt wirklich in der Verbindungslinie der Mitte der beiden kleinen Kreise liegt. Wenn unsere Bedingung erfüllt ist, dann stehen die Löcher genau über der Mitte zwischen der Linie a' und b', sonst wird das Bild unsymmetrisch. Die Fäden erfüllen ferner die Bedingung 3, indem sie uns, wenn sie sich in der Verlängerung voneinander wie in der Abb. 6 A befinden, die korrespondierenden Punkte der beiden Netzhäute anzeigen. 4. Das Urteil über die Verlängerung von a' und a wurde stets, solange es sich um kleine Sehwinkel handelte, mit grofser subjektiver Sicherheit abgegeben. Auch die objektive Übereinstimung innerhalb der einzelnen Messungsreihen war recht gut (s. u.). Dafs sich das Urteil verhältnismäfsig so sicher vollzog, verdanken wir den grofsen Vereinfachungen, die diese Versuchsanordnung gegenüber der zuerst geschilderten enthält. a) Zunächst sind es

nur zwei Fadenpaare, deren Mitte fixiert werden muſs, das ist viel einfacher, als wenn man drei Fadenpaare hat, wobei der mittlere Faden fixiert werden muſs, während an einem der seitlichen Fadenpaare Veränderungen vorgenommen werden. Ob der mittlere von den drei Fäden während einer Versuchsreihe immer fixiert wird, darüber kann die Vp. sehr selten ein sicheres Urteil abgeben. Der mittlere Faden erschwert nur die Übersicht und gibt uns andererseits nicht den Gewinn, daſs wir genau angeben könnten, welcher Punkt während der Versuche fixiert wird. Über die zwei Fadenpaare dagegen ist ein gleichzeitiges Urteil sehr wohl möglich, weil die zwei Fäden eines Rahmens mit den Schlitzrändern sehr leicht zu einem einheitlichen Rechteck zusammengefaſst werden, dessen Mitte sich bequem fixieren läſst. Es werden dann bei einer Einstellung einfach die beiden Rechtecke aneinander passend gemacht. Häufig kam es während der Urteilsbildung vor, daſs die beiden Rechtecke sich zu einem einzigen vereinigten und die beiden sich verlängernden Fäden als einheitliche Linien aufgefaſst wurden. b) Eine weitere Verbesserung ist, daſs im Gegensatz zu der ersten Versuchsanordnung die beiden Rechtecke unmittelber aneinander stoſsen. Dadurch wird das Urteil viel sicherer, als wenn noch ein Abstand zwischen den Fäden ist. Auch fiel trotz oder vielleicht infolge der gröſseren Nähe das Mitfolgen von a′ bei einer Einstellung von a fast völlig fort. c) Die weiſsen Fäden bewährten sich besonders deshalb, weil man den Hintergrund dann auch hellgrau wie den Vordergrund oder doch nur wenig abweichend zu machen brauchte. Das Fehlen starker Beleuchtungskontraste erleichterte das Urteil auch. Allerdings habe ich auch ganz brauchbare Werte mit dunklerem Hintergrund gewonnen.

Diese Versuchsanordnung gibt uns ein bequemes Mittel zur Lösung der Hauptfrage an die Hand. Wenn wir feststellen wollen, ob die Reizung identischer Punkte auch einen Kernebeneneindruck liefert, müssen wir auf folgende Weise verfahren: Wir heben nach Einstellung der identischen Punkte (Abb. 6 A) den rechten Rahmen um einige Millimeter hoch, bis ein Bild wie Abb. 6 B entsteht. Dabei schieben sich die beiden Linien langsam ineinander, und man kann unmittelbar feststellen, daſs die Reizung identischer Punkte nunmehr einen Kernebeneneindruck liefert. Man kann auch umgekehrt von einem Kernebeneneindruck wie in Abb. 6 B ausgehen und

dann die Schlitze wie in Abb. 6 A auseinanderziehen und so die umgekehrte Probe machen. Diese beiden Methoden bezeichnen wir im folgenden als qualitative im Gegensatz zu der dritten Methode, die man als quantitative bezeichnen kann. Bei ihr verfährt man folgendermafsen: die Vp. führt mehrere Einstellungen des Verlängerungsurteils aus, die Einstellungen werden abgelesen und diese quantitativen Ergebnisse werden dann mit den quantitativen Resultaten mehrerer Einstellungen des Kernebeneneindrucks verglichen. Hierbei wurde stets der rechte Faden, der dem rechten Auge dargeboten wurde, eingestellt.

D. Die Resultate.

Die beiden Fäden wurden zunächst in einen Abstand von etwa 4 mm voneinander gebracht, Der Abstand vom Fixierpunkt betrug also etwa 2 mm. Die Entfernung der beiden Rahmen von den Augen wurde auf 23 cm reguliert. Die untersuchten korrespondierenden Punkte haben einen Abstand von 1^0 voneinander. Das Mittel von 8 Einstellungen betrug bei mir:

2,02 mm mit einer mittleren Variation (mV) von $\mp$ 0,01 mm, bei einem Verlängerungsurteil gegenüber 2,01 mm mit derselben mV für Kernebeneneinstellung.

Man sieht, der Unterschied der mittleren Einstellung von Kernebeneneindruck und Verlängerungsurteil ist äufserst gering. Die Differenz beträgt nur etwa 0,01 mm und liegt innerhalb der Fehler der Ablesung, die nur auf 0,025 mm genau ist. Auch die qualitativen Urteile fielen so aus, dafs ich immer sagen mufste, wenn ich die vereinigten Bilder auseinanderzog: die Fäden verlängern sich.

Ich und meine Vpn. haben zur Übung viel mehr Werte eingestellt. Erst wenn die Einstellungen nur geringe Schwankungen zeigten, habe ich die Werte angenommen, dann konnte ich mich aber auch mit wenigen Einstellungen begnügen.

Bei korrespondierenden Punkten, die einen Abstand von 2^0 voneinander haben, ist das Resultat ebenso. Die Entfernung der beiden Fäden voneinander wurde auf etwa 8 mm eingestellt, der Abstand der Rahmen von den Augen blieb wie beim ersten Versuch. Es ergaben sich folgende Resultate:

Mittel von 8 Einstellungen bei Verlängerungsurteil: 4,02 mm (mV = 0,015 mm), bei Kernebene: 4,02 mm (mV = 0,015 mm).

Die quantitativen Werte decken sich zufälligerweise genau. Das qualitative Urteil fiel ebenso wie beim ersten Versuch aus.

Schwieriger wurde die Messung bei noch gröfseren Sehwinkeln. Schon Helmholtz betont: „Von einer genauen Vergleichung der Lage der Doppelbilder kann . . . nur in dem mittleren Teil der Sehfelder die Rede sein, da an ihren peripheren Teilen sowohl die Erkennung der Deckstellen, wie auch die Abmessung der Distanzen durch das Augenmafs zu unsicher ist“ (Physiol. Optik, I. Aufl., Bd. 1, S. 708). Wollten wir die seitlichen Abstände der Fäden auf 6 mm von der gedachten Mittellinie erhöhen, so war mir kein sicheres Urteil über die Deckpunkte mehr möglich. Um nun doch einen gröfseren Sehwinkel noch anwenden zu können, halfen wir uns, indem wir die Rahmen näher an das Auge des Beschauers heranbrachten. Das Aubert-Förstersche Phänomen liefs mich vermuten, dafs bei gröfserer Nähe und gleichzeitiger Mikropsie der Winkel deutlichen Sehens vergröfsert würde. Diese Vermutung bestätigte sich völlig. Wir stellten den Rahmen auf 15 cm Entfernung von den Augen ein und liefsen den Abstand der Fäden auf 4 mm vom Mittelpunkt. Dann gelang uns bei passender Konvergenz für einen Abstand der identischen Punkte von etwa 3^0 voneinander noch eine brauchbare Bestimmung der Deckpunkte. Es folgen die Mittel von 8 Werten. Verlängerungsurteil: 4,03 mm (mV = 0,03 mm). Kernebenenurteil: 4,025 (mV = 0,025). Um einen noch gröfseren Winkel zu erhalten, mufste ich noch mehr mit den Rahmen an die Augen herangehen. Wir näherten die Rahmen auf 12 cm, alles übrige blieb bis auf die Konvergenz wie beim vorigen Versuch. Der Abstand der untersuchten Punkte betrug dann rund 4^0. Mittel von 8 Werten: Verlängerungsurteil: 4,1 mm (mV = 0,05 mm). Kernebenenurteil: 4,1 mm (mV = 0,03 mm). Auch diese Werte stimmen wieder sehr gut miteinander überein. Die Streuung ist allerdings etwas gröfser. Die Ausführung der Urteile über die Deckpunkte war subjektiv mit grofser Unsicherheit verbunden. Auch die qualitativen Urteile fielen bestätigend wie bei unseren ersten Versuchsreihen aus.

Für meine Augen ist somit der Satz, dafs die Reizung identischer Punkte einen Kernebenen Eindruck hervorruft, für die Werte bis zu 4^0 Sehwinkel bewiesen. Zu bemerken ist noch, dafs, wenn die Fäden zu weit auseinanderstanden, also z. B. 12 mm in einer Entfernung von 23 cm von den Augen, die

Messung leicht völlig abweichende Werte ergibt. Bei mir zeigte sich bei einer Messungsreihe eine Abweichung von 0°10'. Wie sollen wir uns dieses Resultat erklären? Trotzdem die mV bei diesen Einstellungen sehr gering waren und die Urteile subjektiv mit grofser Sicherheit abgegeben worden sind, kann man vielleicht doch sagen, dafs sie nicht ebenso gewertet werden können wie die obigen Resultate. Die beiden Fäden sind bei der zuletzt mitgeteilten Versuchsreihe so weit auseinander, dafs das Rechteck von mir nicht mehr als Einheit empfunden wurde. Ich sah vielmehr nur die beiden Gesamtschlitze als Einheiten, die irgendwo von weifsen Fäden gekreuzt wurden. Die Fäden standen unter sich in keinem Zusammenhang. Infolgedessen war ich auch stets unsicher, ob ich während des Urteils die Mitte der Rechtecke fixierte.

Die Einstellungen der Vpn. H. u. K. ergaben ähnliche Resultate wie die meinigen. Für einen Sehwinkel von ca. 1° ergaben sich bei einem Rahmenabstand von 23 cm folgende Mittelwerte:

Verlängerungsurteil	Kernebenenurteil
K.: 2,39	2,403
mV bei 8 Werten ± 0,04 mm	± 0,03 mm
H.: 1,75	1,715
mV bei 8 Werten ± 0,08 mm	± 0,5 mm

Man sieht, dafs die beiden Vpn. bei diesen geringen Sehwinkeln im wesentlichen meine Resultate bestätigen. Auch ihre qualitativen Aussagen sind mit meinen übereinstimmend. Bei gröfseren Sehwinkeln traten für beide Vpn. ähnliche Schwierigkeiten auf wie für mich bei der zuletzt mitgeteilten Versuchsreihe. K. hatte besondere Schwierigkeiten mit dem Einstellen der Kernebene. Seine Tiefenempfindung versagte merkwürdigerweise. Wenn ich die Rahmen wie bei mir den Augen nähern wollte, so ergab sich daraus keine Besserung, im Gegenteil, die Schwierigkeiten steigerten sich für ihn noch. Bei H. trat das Mitfolgen von a' bei Bewegung von a, wie wir es bei der ersten Versuchsanordnung geschildert haben, so stark auf, dafs sie nur mit gröfster Mühe einige Werte einstellte, die objektiv und subjektiv ganz unzuverlässig erschienen. Ihre Werte bei 1° Sehwinkel zeigen auch schon recht grofse Streuung (s. oben). Ich mufste mich trotz aller Bemühungen meiner Vpn. leider mit den oben mitgeteilten Werten begnügen. R., der sich auch als Vp. zur Verfügung stellte, konnte überhaupt keine brauchbaren Werte einstellen,

da die Fäden sich für ihn dauernd gegeneinander verschoben. Wahrscheinlich liegt das an seiner Kurzsichtigkeit, die anderen Vpn. waren normalsichtig. Helmholtz beschreibt S. 707 seiner Physiologischen Optik ähnliche Erlebnisse, wie sie R. schilderte. Die von mir eingestellten Werte waren wohl nur möglich, nachdem ich fast ein halbes Jahr das Sehen mit dem Haploskop Tag für Tag geübt hatte, eine Bemühung, die ich meinen Vpn. nicht zumuten konnte. Meine Werte übertreffen jedenfalls durch ihre geringe Streuung die aller Vpn. und erst recht die früheren Resultate von Volkmann, die er mit seiner auch bei Hering und Helmholtz geschilderten Versuchsanordnung zur Untersuchung der identischen Punkte lieferte (Streuung 1 mm bei sehr kleinen Sehwinkeln).

Abschliefsend können wir also sagen, dafs bei kleinen Sehwinkeln tatsächlich die Anschauung Herings bestätigt wird: die Reizung korrespondierender Netzhautstellen ruft den Eindruck einer Kernebene hervor. Man wird demnach wohl auch annehmen können, dafs bei den peripheren Teilen der Netzhaut, wo den meisten Menschen noch ein deutliches Tiefensehen möglich ist, die Heringsche Anschauung zu Recht besteht; aber nachprüfen wird man die Theorie dort kaum können.

Wenn wir mit beiden Augen in das Haploskop hineinsehen, so entsteht bei konstanter Entfernung der Rahmen von den Augen nur bei einer Einstellung des Konvergenzgrades der Lineale die Abb. 6A oder 6B, in denen die Linien oder Kreise über den Linien wirklich stehen. Bei allen anderen Konvergenzeinstellungen der Lineale zeigen uns die Blickrichtungsindikatoren, dafs die Augen der im Haploskop eingestellten Konvergenz nicht folgen. Dieser eine Wert, wo die beiden Augen auch wirklich die Mitte der Bilder fixieren, entspricht bei mir und meinen Vpn. bei aller Sorgfalt der Einstellung des Haploskops niemals dem mathematischen Konvergenzwinkel, der sich aus der Entfernung der beiden Augen voneinander und der Entfernung des Gegenstandes, in unserem Fall der Rahmen von den Augen berechnen würde. Stets ist die empirische Konvergenz kleiner. Es möge eine kleine Tabelle der gemessenen Winkel folgen:

Entfernung der Rahmen	Konvergenzwinkel theoretisch α_1	empirisch α_2		
		Lau	Hukriede	Kämmerer[1]
23 cm	8°	6°	5°	5,2°
15 „	12	11	—	9
12 „	15,5	12	—	11

Es ergibt sich daraus, dafs wir im normalen Leben wahrscheinlich stets eine von der mathematischen Konvergenz abweichende Augenstellung einnehmen und zwar ist die empirische Blicklinie der beiden Augen stets auf einen Punkt hinter dem fixierten Punkt gerichtet. Wir sehen, wenn wir den Blick auf nahegelegene Gegenstände wenden, demnach in den seltensten Fällen wirklich mit identischen Stellen, sondern meist tritt bereits eine Fusion von Bildern disparater Stellen ein. Eine weitere Folgerung ergibt sich aus folgender Tatsache. Hillebrand hat schon in seiner Untersuchung im Jahre 1893 ausgeführt, dafs, wenn man drei Fäden mit Hilfe des Haploskops in eine Ebene eingestellt hat, diese relative Lage der Fäden zueinander bei den verschiedensten Konvergenzstellungen erhalten bleibt. Auch Jaensch hat neuerdings dieselbe Beobachtung gemacht. Wir können dieselbe ebenfalls bestätigen. Wir wissen jetzt, dafs die Konvergenzstellung der Augen der Einstellung der Lineale im Haploskop nicht gefolgt sein wird. Es werden nur bei einer Stellung identische Stellen gereizt werden, sonst immer Punkte, die nach rechts oder links von den identischen Stellen abweichen. Hieraus ergibt sich ohne weiteres eine beträchtliche Erweiterung des Heringschen Satzes. Wir können ihn jetzt so formulieren. Haben mehrere Punkte auf der Netzhaut gleiche Querdisparation, so erscheinen sie in einer Frontalebene. Der Kernebeneneindruck bei Reizung mehrerer identischer Punkte ist nur ein Spezialfall dieses Gesetzes, der eintritt, wenn die Querdisparation gleich Null wird.

Diese Tatsache ist auch zu berücksichtigen bei der Beurteilung des Heineschen Phänomens.[2] Heine hatte nachgewiesen, dafs die Querdisparation um so besser ausgenützt wird, je entfernter das Fadenprisma steht und er kam nach Versuchen im Haploskop zu der Überzeugung, dafs einer bestimmten Querdisparation

[1] Augenabstand sämtlicher Vpn. ist zwischen 64 u. 65 mm.

[2] *Archiv für Ophthalmolog.* **51**, S. 563. 1900.

je nach der Konvergenz der Augen ein anderer Tiefenwert entspricht. Wir müssen hierzu bemerken, daſs wenigstens im Haploskop nur bei einer Konvergenzeinstellung die beiden äuſseren Fäden des Fadenprismas keine Querdisparation hatten, daſs bei anderen Einstellungen auch schon, wenn die Fäden in der Frontalebene des Fixationspunktes sind, eine bestimmte Ausgangsquerdisparation vorhanden ist, also beim Sehen eines Prismas eine weitere Querdisparation zu der gegebenen Ausgangsdisparation hinzukommt. Nun ist aber der Tiefenwert auf keinen Fall einfach proportional der Querdisparation, also kann der Wert a einer Querdisparation, die für Tiefensehen ausgenutzt wird, nicht als gleich empfunden werden, wenn er zu einem Ausgangswert von Querdisparation x_1 x_2 x_3 ... hinzukommt.

II. Teil.

Die Konstanz der identischen Punkte beim Sehen auf verschiedene Entfernungen.

A. Experimentelle Bestätigung der Hillebrandschen Horoptertheorie.

Die Frage des zweiten Teiles ist die: Ordnen sich die identischen Punkte unter verschiedenen Bedingungen um, bleiben dieselben Punkte miteinander korrespondierend, wenn man die Entfernung der Gegenstände von den Augen ändert? Das Phänomen der scheinbaren Gröfse macht eine Änderung nicht unwahrscheinlich. Ferner: Tschermak hat nachgewiesen, daſs die Horoptereinstellungen bei fallenden Tropfen anders sind als bei ruhenden Loten. Scheinen da nicht unter verschiedenen Bedingungen die korrespondierenden Punkte der Netzhaut sich umzuordnen?

Der Untersuchung zugrunde gelegt wurde der Horopterapparat nach Rupp[1], an dem nur nach Bedarf gewisse Änderungen vorgenommen wurden (siehe Abb. 7). Die Vp. sieht auf drei senkrechte Fäden (a, b, c), die aus Frauenhaaren bestehen. Diese Fäden kann die Vp. durch Drehen an einer Rolle nach vorn oder hinten bewegen. Sie sind unten mit Metalloten beschwert, so daſs sie immer senkrecht hängen. Die Schwingung der Lote wurde gedämpft. Der Kopf des Beobachters war durch Stirn-

[1] Katalog Marx, s. o.

und Kinnhalter fixiert, der mittlere Faden wurde möglichst genau vor die Mitte der Nase des Beobachters gesetzt. Es wurden verschiedenfarbige Frauenhaare in Anwendung gebracht, ebenso verschiedene Hintergründe und Beleuchtungen, bis ich mich für zwei extreme Versuchsanordnungen entschied, die in verschiedener

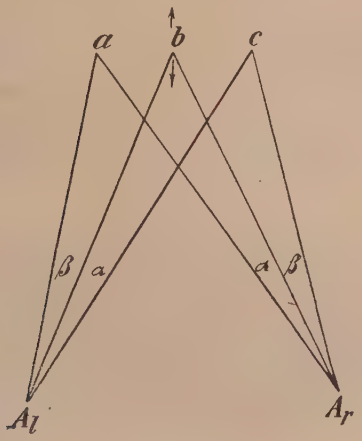


Abbildung 7.

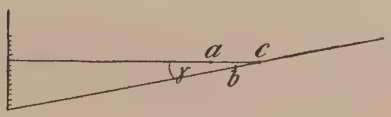


Abbildung 8.

Entfernung angewendet wurden. Einmal wurden weifse Fäden auf hellgrauem Grunde angewendet. Auf die drei weifsen Fäden blickte man durch einen Ausschnitt, der aus weifsem Karton hergestellt war. Diesem Karton wurde möglichst dieselbe Helligkeit gegeben wie dem Hintergrund. Der Ausschnitt war 2 cm hoch und etwa 10 cm breit. Er wurde so nahe wie möglich an die Fäden herangebracht. Während der Versuche wurde nur die Lage des mittleren Fadens variiert. Die Aufgabe bestand darin, den mittleren Faden in dieselbe Ebene wie die Seitenfäden zu stellen. Der Mittelfaden sollte während der Einstellungen fixiert werden. Die zweite etwas veränderte Versuchsanordnung werden wir nachher schildern. Die Art der Ablesung der eingestellten Werte geht aus Abb. 8 hervor. Es wurde durch Visieren der Winkel γ bestimmt und daraus der Abstand des Mittelfadens von einer zwischen die Seitfäden gespannt gedachten Ebene berechnet.

Ich teile jetzt die Werte mit, die ich bei hellem Hintergrund eingestellt habe.

1. In 240 mm Entfernung und 6 mm Abstand der seitlichen Fäden vom Mittelfaden wurde der Mittelfaden von mir um

0,09 mm zu weit nach hinten eingestellt. Der Wert ist ein Mittel von 8 Ablesungen, wobei der Faden von hinten nach vorn bewegt wurde und von 8 Ablesungen, wobei der Faden von vorn nach hinten bewegt wurde. Die mV betrug etwa $\pm$ 0,05 mm, ganz gleich, ob man die Fäden von vorn oder von hinten auf die Kernebene hin bewegte.

2. Bei 360 mm Abstand von den Augen und 9 mm Abstand der Seitenfäden vom Mittelfaden wurde von mir der Faden fast genau in die mathematische Ebene der Seitenfäden gestellt. Der Mittelwert von 16 Messungen beträgt: 0,015 mm hinter der Ebene. mV: = 0,03 mm.

3. Bei 480 mm Abstand und 12 mm seitlichem Abstand wurde der Mittelfaden gleichfalls genau in die Ebene der Seitenfäden gestellt. Die mV betrug $\pm$ 0,01 mm.

4. Bei 1440 mm Abstand von den Augen und 36 mm Abstand der Seitenfäden vom Mittelfaden wurde der Faden um 1,1 mm im Mittel zu weit nach vorn gestellt. mV: = $\pm$ 0,5 mm.

Man sieht, die Helmholtzschen Beobachtungen haben sich durchaus bestätigt. Will man den Horopter einstellen, so stellt man nicht den mathematischen Horopter nach Müller ein, sondern man stellt in der Nähe die Fäden so ein, dafs der mittlere Faden etwas hinter den Seitenfäden steht, aber nicht weit genug, um die Müllersche Gleichung zu erfüllen. In der Ferne stellt man den mittleren Faden sogar nach vorn. Hätte nun Hillebrand recht, dafs die korrespondierenden Punkte der Netzhaut nicht umgeordnet werden, so mufs das Verhältnis von α und β (s. Abb. 7) konstant[1] bleiben, wenn ich dieselben Sehwinkel bei verschiedenen Entfernungen anwende. Die folgende Tabelle bestätigt die Hillebrandsche Theorie vollkommen. Sie ist aus den oben mitgeteilten Werten berechnet.

Entfernung: 240 mm	360 mm	480 mm	1440 mm
α = 1° 24′ 19″	1° 25′ 04,6″	1° 25′ 24,4″	1° 25′ 47,4″
β = 1° 24, 32″	1° 25′ 25,8″	1° 25′ 41″	1° 25′ 59″
Diff.: = 13″	21,2″	16,6″	11,6″

Man sieht, dafs bei annähernd konstanten Sehwinkeln die Differenzen von $\beta - \alpha$ ziemlich konstant sind. Die Werte

[1] Die Abweichung der empirischen von der mathematischen Konvergenz bleibt hier unberücksichtigt. Sie bildet eine Fehlerquelle, deren Gröfse sich schwer nachweisen läfst, aber die wohl zu vernachlässigen ist

schwanken nur um 10″. Das ist aber etwa der geringste Wert, den man überhaupt erwarten kann.

Meine Vpn. bestätigten meine Ergebnisse (s. Tabelle).

Kämmerer:

Entfernung: 250 mm	500 mm
α = 1° 20′ 46″	1° 21′ 50″
β = 1° 21′ 36″	1° 22′ 28″
Diff.: = 50″	38″

Hukriede:

α = 1° 20′ 57″	1° 22′ 1″
β = 1° 21′ 25″	1° 22′ 17″
Diff.: = 28″	16″

Die Streuung ist bei meinen Vpn. bei den Einstellungen etwas gröfser als bei mir. Die Differenzen der Winkel bei verschiedenen Entfernungen stimmen auch nicht ganz so gut überein wie bei meinen Werten. Jedoch kann man sagen, dafs unter der Bedingung: weifse Fäden, hellgrauer Hintergrund und hellgrauer Spalt die Horoptertheorie Hillebrands sich vollauf bestätigt hat. Die identischen Punkte bleiben konstant in verschiedenen Entfernungen des Objekts und entsprechend verschiedener Konvergenz der Augen. Es hat sich auch bestätigt, dafs der Winkel α (s. Abb. 7) des einen Auges stets einem gröfseren Winkel β des anderen Auges entspricht. Bei mir und Fräulein Hukriede ist das Verhältnis der Winkel gerade so, dafs der Horopter für kleine Sehwinkel in einer Entfernung von ungefähr $^1/_2$ m genau eine gerade Ebene ist, eine Tatsache, die teleologisch gewifs von grofser Bedeutung ist. Bei Herrn Kämmerer ist das Verhältnis von α und β derart, dafs er bereits in $^1/_4$ m Entfernung den Mittelfaden zu weit nach vornstellt. Die Verhältnisse bei ihm ähneln mehr denen, die Hillebrand von sich mitteilt.

B. Störungen bei den Horoptérversuchen.

Die einfachen Resultate des vorigen Kapitels müssen aber noch eine Einschränkung erfahren. Nimmt man statt des hellen Hintergrundes und des hellen Schlitzes einen tief schwarzen Hintergrund und Schlitz und verdunkelt das Zimmer völlig, während man nur die Fäden durch einen Projektionsapparat von der Seite hell beleuchtet, so ist die jedesmalige Horoptereinstellung von der unmittelbaren Vorgeschichte

der Einstellung abhängig.[1] Wird der Faden beispielsweise von hinten genähert, so sind sämtliche Einstellungen des Horopters zu weit nach hinten. Ich will zunächst eine Tabelle meiner Einstellungen geben. Die Tabelle enthält den Mittelwert von 8 Einstellungen, die ich gemacht habe, indem ich den Mittelfaden von hinten in die Frontalebene, die durch die beiden Seitenfäden geht, einstellte.

Entfernung:	240 mm	480 mm	1440 mm
	= 1° 24′ 33″	1° 25′ 45,4″	1° 25′ 54,4″
	= 1° 24′ 18″	1° 25′ 20″	1° 25′ 52,5″
Diff.:	= 15″	25,4″	1,9″

Die Streuung ist bei den Einstellungen bei mir etwa dreimal so grofs als bei denen bei hellem Grund, niemals aber wurde der Faden weiter nach vorn gestellt, als es dem richtigen Wert der Einstellung bei weifsem Grunde entsprach. Man sieht, dafs jetzt α gröfser ist als β, ganz ähnlich wie bei dem sog. Tropfenhoropter von Tschermak. Man könnte nun einfach sagen, die Ungenauigkeit der Einstellung erklärt sich aus der Unschärfe der Konturen. Die weifsen Fäden bilden einen Kontrast mit dem tiefschwarzen Hintergrund, und es tritt so Irradiation ein. Da man nun den Faden von hinten nähert, stellt man den Grenzwert ein, der eben noch gerade als Ebene empfunden werden kann. Diesem Gedanken widerspricht aber das Verhalten der Vpn. während der Versuche: Sämtliche Vpn. verhielten sich ebenso wie ich, dafs sie den Mittelfaden erst zu weit nach vorn einstellten und dann wieder zurückgingen, bis sie sich bei einem Wert begnügten, der der obigen Tabelle entspricht. Besonders krasse Einstellungen führte B. aus. Bei K. und R. war der Einfluſs der Vorgeschichte in ähnlicher Weise zu bemerken wie bei mir. Am geringsten wurde H. beeinfluſst, die kaum abweichende Resultate gegenüber der Versuchsanordnung des vorigen Kapitels lieferte. Letztere zeigt auch bei der qualitativen Schilderung ihrer Erlebnisse besondere Eigenschaften.

Umgekehrt, wurde der Faden von vorn der Ebene genähert, so wurde er von mir und meinen Vpn. stets zu weit nach vorn eingestellt, und zwar war die quantitative Abweichung von den

[1] Die Fäden waren nicht so hell und blendend, dafs die Tiefenempfindung versagte..

im vorigen Kapitel mitgeteilten Daten etwa ebenso grofs, nur im entgegengesetzten Sinne, als in den oben erörterten Fällen.

Zur Erklärung dieses Phänomens schienen mir die qualitativen Beobachtungen der Beobachter herangezogen werden zu müssen.

C. Psychologische Begleiterscheinungen bei den Horopterversuchen.

Um systematisch alle Möglichkeiten von Einflüssen psychologischer Faktoren herauszustellen, habe ich sämtliche Vpn. ihre qualitativen Beobachtungen bei hellem Hintergrund, wenn der Mittelfaden vorn stand, wenn er hinten stand, wenn er in einer Ebene mit den Seitenfäden stand, zu Protokoll geben lassen. Dasselbe tat ich auch bei schwarzem Hintergrund. Während der qualitativen Beobachtungen waren die Fäden stets etwa 48 cm von den Augen entfernt, doch ergaben Stichproben, dafs bei anderen Entfernungen die qualitativen Beobachtungen im wesentlichen dieselben sind. Abb. 9 bringt eine Übersicht über sämtliche uns wichtig erscheinende Erlebnisse, besonders von Quasikörpern, die bei hellem Hintergrunde, wenn der Mittelfaden vorn stand, geschildert worden sind. Rechts oben auf den einzelnen Rubriken stehen die Vpn., die das Phänomen beschrieben haben. Die Zeichnungen geben die Erscheinungen, die von der Seite des Schlitzes her gesehen wurden, von oben her gesehen wieder. Mir selbst und meinen Vpn. drängte sich diese Art der Zeichnung auf.

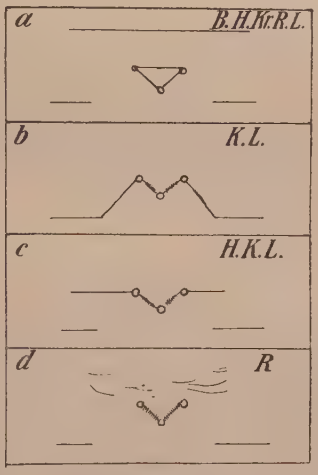


Abbildung 9. (I)

Ia. Ein Glasprisma steht scheinbar zwischen dem Schlitz und einem Hintergrund, der „ein ganzes Stück“ (H.) hinter dem Glasprisma steht.

Ib. Eine zusammenhängende Ebene wird gesehen, die sich an den vorderen Rahmen anschliefst. Um die Fäden herum ist die Ebene etwas aufgehellt und zwischen den Fäden ist sie etwas dunkler. Die Fäden stellen Knicke der Ebene, die vielleicht aus Papier bestehen könnte, dar.

Ic. Wie Ib, nur gehen die seitlichen Ebenen nicht auf den Rahmen zu, sondern bleiben frontal.

Id. R. sieht nur eine Ecke, die an den Kanten verdunkelt ist. Dahinter nimmt er wolkenartigen Hintergrund wahr.

Abb. 9a bringt eine Übersicht über die Erscheinungen von Quasikörpern bei hellem Hintergrund, wenn der Mittelfaden hinten stand.

IIa. Ein Prisma wie Ia. „Das Prisma erscheint viel seltener und ist schwerer hervorzurufen wie im Fall der Abb. 9 (I)“ (H.).

IIb. H. beschreibt das Bild ähnlich wie Ic. Bei ihr sind die Kanten etwas dunkler im Gegensatz zu K., bei dem sie stets heller geschildert werden.

IIc. Es bestehen keine Verbindungsebenen. Die Fäden stehen wie in einem Nebel, der vorn lichter wird. (R. schildert ein Erlebnis, was zwischen IIb und IIc steht: Ich könnte nicht sagen, ob die Fäden zu den Flächen gehören oder nicht. Sie werden kaum apperzepiert. Sie gehören weder dazu, wie etwa eine Randleiste oder eine gemalte Randverzierung, noch auch sind sie selbständige Fäden.)

IId. Zuweilen kam bei mir ein Quasikörper mit gekrümmten Flächen zustande.

Die Seltenheit von IIa, die Existenz von c und d beweisen, dafs die Quasikörperauffassung etwas schwerer ist als bei der Serie Abb. 9.

Abb. 9b bringt die Erlebnisse bei hellem Hintergrund, wenn die Fäden in einer Ebene stehen.

IIIa. Man sieht eine Glasebene. Dieselbe ist durchsichtig und hat einen hellen Hintergrund. Die Fäden sind wie Einritzungen (K. und H.) auf Glas.

IIIb. Wie IIIa, nur ist die Glasebene aus Milchglas.

IIIc. Die Ebene ist schwach steppenartig (K.). Die Schattierung: in der Nähe der Fäden heller, zwischen den Fäden dunkler — scheint beim Zustandekommen des Eindrucks eine Rolle zu spielen.

IIId. Eine umgekehrte Steppdecke „wie eine kanellierte Säule“ (R.).

IIIe. Fäden, die im leeren Raum hängen, dahinter ein oberflächenhafter Hintergrund.

Zusammenfassendes Urteil über I—III: Die weifsen Fäden auf hellgrauem Grunde sind leicht ein Anlafs

zur Bildung eines Quasikörpers, der meistens nur aus dünnen (Papier-) oder glasartigen Ebenen besteht. Zuweilen zeigen die Ebenen geringe Wölbungen.

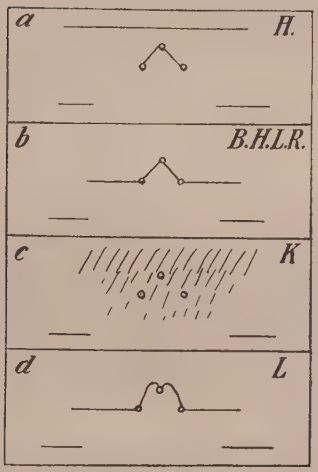


Abbildung 9a. (II)

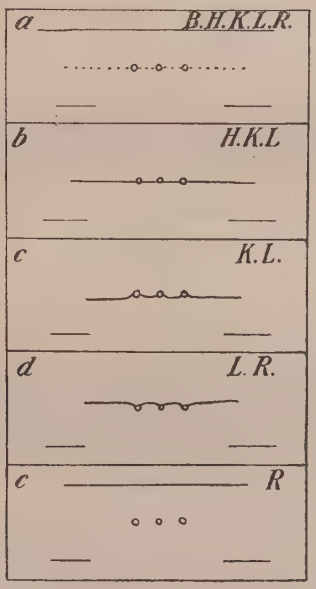


Abbildung 9b. (III)

Anders liegen die Verhältnisse, wenn man einen tiefschwarzen Hintergrund und Schlitz nimmt und nur die Fäden hell beleuchtet. Abb. 10a schildert die Erscheinungen, wenn der Mittelfaden vorn steht:

IV a. Die drei leuchtenden Fäden haben an sich eine schwarze Masse hängen, die stark gewölbte Oberflächen hat. Die hellen Fäden verbreiten einen Lichtschein um sich. Der Zusammenhang in der Figur ergibt sich erst bei längerer Betrachtung, dann aber ist er ähnlich sinnlich deutlich wie in I—III (H. K. L. R).

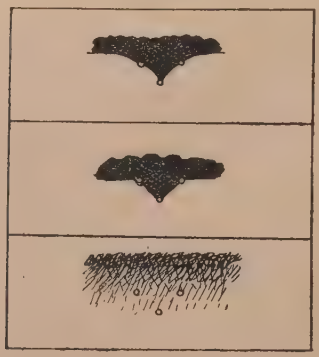
IV b. Der Raum ist von einer schwarzen Masse erfüllt, die nach vorn durch ebene Oberflächen begrenzt wird. Zwischen den Fäden scheint die schwarze Masse noch dunkler zu sein. K, kann nur die Oberflächen der Ecke erkennen, die seitlichen Oberflächen fehlen bei ihm. Die leuchtenden Fäden gehören nicht zu der Masse, sondern sind wie „aufgesetzte Metallstreifen" (H.). Diese letzte Beobachtung gilt für alle Fälle. K. schildert die Oberflächen als glatt und ganz hart wie „Bogenlichtkohle".

„Die gegenständliche Auffassung wird durch kleine Schattierungen herbeigeführt“ (R.).

Abb. 10b. Schwarzer Hintergrund, der Mittelfaden ist hinten.

V a. Schwarzer Raum, der durch Ebenen begrenzt wird, die an hellen Fäden hängen. Die Wölbung der Ebenen ist viel stärker wie bei II d (L.).

V b. Wie IV b. R.: Die Verbindung ist nicht körperlich, nicht fest.



A

Abbildung 10a. (IV)

B

Abbildung 10b. (V)

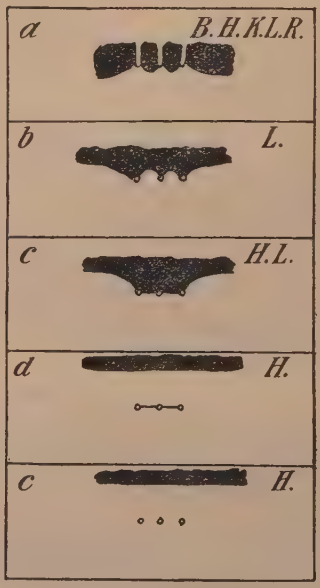


Abbildung 10c. (VI)

Vc. (auf der Abbildung nicht enthalten) Analog IVc. R: „Der Zusammenhang der Fäden ist rein dynamisch.“

Abb. 10c. Die drei hellen Fäden in einer Ebene, tiefschwarzer Hintergrund.

VIa. „Ich sehe einen dunklen gewölbten Vorhang, durch dessen Schlitze Licht dringt“ (B.) L. sieht besonders deutlich eine ähnliche Erscheinung, wenn der Mittelfaden von vorn in die Ebene hineinbewegt wird. R. schildert „Es ist eine zähe Masse, in die

sich der Lichtkörper hineinsenkt". Für R. ist eine konkave oder konvexe, aber auch eine ebene Form der Oberflächen nicht erkennbar.

VIb. An die Lichtstreifen hängt sich etwas wie ein schwarzer Vorhang, besonders wenn der Faden von hinten kommt.

VIc. Ähnlich wir VIb, nur die Einbuchtungen in der Mitte fehlen.

VId. Vor dem schwarzen Hintergrund steht ein dunklerer Streifen als der Hindergrund. Der Streifen hat leuchtende Ecken und einen leuchtenden Mittelstreifen.

VIe. Ein schwarzer Hindergrund, davor 3 Seiten, die in dem Raum in einer Ebene gespannt sind. Der Hintergrund ist eine gleichmäfsige schwarze Fläche.

Fassen wir zusammen, so können wir sagen, dafs die leichten Papier- und Glasebenen wie I—III so gut wie gar nicht entstehen. Immer handelt es sich um dunkle, in die Tiefe gehende Massen, die sich an anders geartete Streifen anschliefsen. Häufig haben die Oberflächen dieser schwarzen Masse stark gekrümmte Formen, besonders aber bei Bewegung der Fäden. Die Masse ist „zäh" (R.) und will den Bewegungen der Fäden nicht recht folgen. Sie nimmt besonders bei mir bei Bewegung gern Formen wie Abb. VIa und VIb an. Dadurch wird nach meinem Empfinden während der Versuche das Kriterium der Querdisparation in seiner Wirkung gestört. Diese Störungen können sich um so unangenehmer bemerkbar machen, als die Feinheit der Auffassung der Fäden wohl auch durch Irradiation beeinflufst ist. Diese Störungen durch Quasikörper sind für die verschiedenen Versuchspersonen verschieden stark. R. empfand diese Beeinflussungen als etwas Sekundäres, trotzdem bei ihm die Werte, je nachdem ob der Faden von vorn oder von hinten genähert wurde, deutlich auseinanderfielen. H. gelang es zuweilen, dieser Störungen ganz Herr zu werden und Abbildungen wie VId und VIe ohne die zähen Massen zu sehen. Ihre Einstellungen zeigen sich auch objektiv frei von Beeinflussungen. Ganz ähnlich liegt der Fall bei Herrn Dr. Kühn, den ich nachträglich noch zu Versuchen heranzog. Seine Einstellungen wurden von der Vorgeschichte gar nicht beeinflufst. Er hat auch niemals irgendwelche gekrümmten Oberflächen gesehen. Gerade die Tatsache, dafs H. und Kü. subjektiv die Störung nicht so empfanden wie z. B. ich und dementsprechend auch objektiv die Einstellungen vornahmen, be-

stätigt die Theorie, dafs die psychologischen Faktoren tatsächlich die Störungen verursacht haben. Noch ein anderer Hinweis auf die Richtigkeit meiner Theorie wurde mir vom Zufall geliefert. Eines Tages war meine Versuchsordnung nicht ganz in Ordnung. Der Hintergrund bekam ganz geringe Lichtreflexe von der Bogenlampe, die die Fäden beleuchtete. Die Bogenlampe flackerte infolge mangelhafter Kohlen und brachte durch ihre Reflexe eine Unruhe in den Hintergrund. Diese Unruhe verhinderte bei mir das Zustandekommen des Quasikörpers und sogleich fielen die Werte völlig zusammen, ob ich den Mittelfaden nun von vorn oder von hinten der Kernebene näherte.

D. Der sogenannte Tropfen-Horopter nach Tschermak.

Im Anschlufs an diese Resultate sei es erlaubt, einmal auf die Resultate des Momentan-Horopters von Tschermak einzugehen. Seine beste Versuchsordnung ist folgende: In etwa 0,5 m Entfernung von den Augen waren drei Stäbe aufgestellt. Die beiden linken Stäbe wurden dauernd als Reiz gegeben. Der rechte Stab dagegen wurde nur momentan beleuchtet, während er sonst nicht wahrnehmbar war. Bei Versuchen mit dieser Anordnung ergab sich nun, dafs dieser momentan beleuchtete Stab weiter nach vorn gestellt wurde, wenn er in eine scheinbare Ebene mit den beiden linken Stäben eingestellt werden sollte, als wenn der Stab ruhig beleuchtet würde. Tschermak glaubte hieraus schliefsen zu müssen, dafs der Momentan-Horopter stärker gekrümmt sei als der Lot-Horopter. Jaensch, der diese Versuche wiederholte, kam zu ähnlichen Resultaten.

Zunächst müssen wir nach unseren Erfahrungen einige Einwände gegen die Versuchsanordnung erheben. Es ist aufserordentlich ungünstig, dafs Tschermak den in seiner Tiefenstellung variierbaren Momentanreiz auf der einen Seite anfgestellt hat. Der Einfluſs dieser seitlichen Anbringung des Momentanreizes machte sich bei meinen ersten orientierenden Versuchen über das Tschermak-Phänomen sehr störend geltend. Ich benutzte wiederum die Versuchsanordnung mit weifsen Fäden und hellem Hintergrunde, machte den Hintergrund aber so hell, dafs die weifsen Fäden sich bei der Tagesbeleuchtung nicht von dem Hintergrund abhoben. Darauf beleuchtete ich die Fäden durch eine elektrische Lampe und stellte einen Episkotister so auf, dafs es den rechten seitlichen

Faden beschatten und belichten konnte. Bei Drehen des Episkotisters wurde der rechte Faden etwa 1/30 Sekunde alle zwei Sekunden dreimal belichtet. Als ich diese Versuchsanordnung fertiggestellt hatte, blickte ich einen Augenblick in meine Bogenlampe und wollte dann eine Einstellung des rechten Seitenfadens in eine Ebene mit den linken Fäden machen. Dabei beobachtete ich, daſs das Nachbild der Bogenlampe, auch während ich mir die gröſste Mühe gab, den Mittelfaden zu fixieren, immer dem rechten aufflackernden Faden zuwanderte. Es besteht also eine sehr starke Tendenz, den Blick auf Momentanreize hinzurichten. v. A., Kü. und R. erlebten das Phänomen ganz ähnlich; besonders wenn sie ein Urteil abgeben wollten, war es ihnen ganz unmöglich, ihren Blick nicht auf den aufflackernden Faden zu richten. Man sieht daraus, daſs Tschermak wahrscheinlich bei unsymmetrischer Konvergenz der Augen gearbeitet hat, ein Fall, bei welchem sich, wie wir nachher zeigen werden, die Resultate auf jeden Fall verschieben müssen. Jaensch hat dadurch, daſs er die Momentanreize rechts und links gleichzeitig darbot und nur den Mittelstab konstant beleuchtete, diese störende Tendenz, den Momentanreiz zu fixieren, ausgeschaltet. Er kommt auch dabei noch zu ähnlichen Resultaten wie Tschermak, hat allerdings keine quantitativen Messungen ausgeführt. Man sieht aus den Versuchen von Jaensch, daſs die Tschermak'schen Versuche durch die soeben erwähnte Fehlerquelle nicht voll aufgeklärt werden.

Schwerwiegender als dieser kleine Fehler in der Versuchsanordnung ist eine falsche Folgerung, die Tschermak aus seinen Versuchen zog. Tschermak behauptete, daſs der Tropfen-Horopter oder der Momentan-Horopter sich mehr dem Müller'schen Horopter-Kreis nähere als der Lot-Horopter. Der ganze Tropfen-Horopter bestand aber bei ihm nur darin, daſs ein seitlicher Reiz momentan gegeben wurde. Wie unsere Versuche zeigen werden, kann man diese Versuche nur folgendermaſsen beschreiben: Momentanreize müssen vor die Ebene von Dauerreizen gestellt werden, wenn sie in einer Ebene mit Dauerreizen empfunden werden sollen. Wir verfuhren bei unserem Versuch folgendermaſsen. Die beiden äuſseren weiſsen Fäden wurden durch zwei verschiedene Lichtquellen beleuchtet, der mittlere aber wurde durch den Episkotister in demselben Rhythmus belichtet wie bei der provisorischen Versuchsanordnung. Die Seitenfäden waren etwa 2,5 cm von dem Mittelfaden entfernt, die 3 Fäden etwa 50 cm von dem Beobachter.

Während ich nun den Mittelfaden, bei ruhiger Beleuchtung 0,55 mm hinter die Ebene der Seitenfäden stellte, stellte ich ihn bei rhythmischer Momentanbelichtung 0,3 mm vor die Ebene des Mittelfadens. Ähnliche Resultate lieferte Kü.; während er bei ruhender Beleuchtung den Mittelfaden ca. 1,3 mm hinter die Seitenfäden einstellte, stellte er ihn bei Momentanbelichtung 1 mm vor die Ebene der Seitenfäden. Wir kommen also zu ganz ähnlichen Resultaten wie Tschermak. Die schnelle Wiederholung des Momentanreizes beeinflufst das Resultat dabei nicht. Der Momentanreiz mufs weiter nach vorn eingestellt werden, um in derselben scheinbaren Ebene zu erscheinen wie die Seitenfäden.

Wollte ich aus meinem Resultat denselben Schlufs ziehen wie Tschermak, so würde ich zu einem entgegengesetzten Momentan-Horopter kommen als Tschermak. Man sieht, wie irreführend die Darstellung Tschermaks war.

Tschermak hat keine Theorie dieses Phänomens angedeutet. Auch Jaensch ist sehr vorsichtig in der Deutung dieser Tatsache. Aus dieser Arbeit ergibt sich folgende Erklärungsmöglichkeit für die Erscheinung. In dem ersten Teil der vorliegenden Arbeit hatten wir festgestellt, dafs man beim Fixieren von Fäden wahrscheinlich normalerweise hinter die Ebene der Fäden blickt. Man sieht also die Fäden mit einer gewissen Querdisparation. Nun ist aber festgestellt worden, dafs die Querdisparation bei Momentanbeleuchtung[1] nicht zu voller Auswirkung kommt. Folglich mufs der Mittelfaden, wenn er momentan beleuchtet wird, als mit geringerer Querdispiration gesehen erscheinen. Er mufs daher, um wiederum scheinbar in eine Ebene mit den Seitenfäden gestellt zu werden, näher an den Beobachter herangeführt werden, d. h. seine Querdisparation mufs gröfser gemacht werden, um dem Querdisparationswert der ruhig beleuchteten Seitenfäden gleich

[1] L. v. Karpinska. Experimentelle Beiträge zur Analyse der Tiefenwahrnehmung. *Zeitschr. f. Psych.* 1910. Bd. 57. S. 1—88.

Hier siehe auch die weiteren Literaturangaben.

Wenn Frl. Karpinska zu der falschen Auffassung kam, dafs bei Momentanbeleuchtung die Querdisperation überhaupt keine Wirkung hat, so liegt das daran, weil den Vpn. während der Momentanbeleuchtung zu viel Unbekanntes gezeigt wurde. Es war immer ein ganz unbekanntes Objekt, was stereoskopisch dargeboten wurde, da war die Deutung der Tiefendimension immer eine Aufgabe neben vielen und daher sehr schwer. Der einfache Heringsche Fallversuch, die Tschermakschen Versuche beweisen zur genüge, dafs Helmoltz's Auffassung richtiger ist.

empfunden zu werden. Zu dieser Theorie würde sehr gut passen, daſs Tschermak bei den kürzesten Belichtungen die gröſsten Abweichungen gegenüber dem Lot-Horopter gehabt hat, daſs er bei längerer Belichtung dagegen Werte bekam, die dem Lot-Horopter ähnlicher waren. Je kürzer die Belichtungszeit, um so weniger scheint demnach die Querdisparation ausgenutzt zu werden. Durch ähnliche systematische Versuche könnte man quantitativ feststellen, wie die Entwicklung des Tiefeneindrucks von der Belichtungszeit abhängt.

III. Teil.

Phänomenologie frontaler Ebenen bei bewegten Augen.

A. Die psychologischen und geometrischen Voraussetzungen zum Verständnis unserer Frage.

Die Fragestellung des III. Teils lautet: Wie ordnen wir bei bewegten Augen eine Reihe von Stäben an, so daſs sie uns in einer Ebene erscheinen? Daraus ergibt sich sofort die andere Frage: Wie erscheint uns eine mathematische Ebene? Diese Fragen sind unseres Wissens noch nicht ganz gelöst. Jaensch[1] berührt sie in seinem Kapitel über orthogene Lokalisationstendenz, ohne sie ganz der Lösung entgegengeführt zu haben. Zwei Voraussetzungen müssen wir kennen: die psychologische Voraussetzung zum Verständnis unserer Frage ist bereits mit ziemlicher Klarheit von Filehne[2], aber auch von Jaensch herausgearbeitet worden. Die geometrische Seite der Sache aber scheint mir bisher etwas vernachlässigt. Daher zeigen die bisherigen Ergebnisse noch eine gewisse Unklarheit. — Die psychologische Voraussetzung zum Verständnis unserer letzten Versuchsreihe können wir am besten an einigen allgemein bekannten Erscheinungen erläutern. Stehen wir etwa an der Meeresküste und blicken auf den Horizont, indem wir den Kopf bald nach rechts und bald nach links wenden, so bemerken wir, daſs die Mitte der von uns gesehenen Horizontlinie immer ungefähr senkrecht zur Blicklinie zu verlaufen scheint. Halten wir den Kopf still und bewegen nur die Augen, so entsteht dasselbe Erlebnis: Immer scheint die Horizontmitte sich etwa senkrecht zur Blickrichtung des Beobachters zu befinden. Schlieſst man ein Auge, so wird

[1] *Zeitschr. f. Psychol.*, Ergänzungsband **6**, S. 173.

[2] *Pflügers Archiv* **59**, S. 280.

an diesem Erlebnis nichts geändert. Auch ein Auge sieht die Horizontmitte senkrecht zur Blicklinie. Die Kreisform des Horizontes scheint, wie JAENSCH angedeutet hat, eine Art psychologischen Integrals aus den einzelnen Erlebnissen an dem Horizont bei bewegten Augen zu sein. Ähnliche Beobachtungen beschreibt FILEHNE dem Himmelsgewölbe gegenüber: Wir sehen „in aufrechter Stellung bei ruhendem Blick nur ein Stück Himmel, welches uns wie eine ebene Fläche senkrecht zur Sehrichtung erscheint. Erst wenn wir den Blick wandern lassen, entsteht die Vorstellung von der Wölbung". Bei Beobachtungen am Himmel mufs man aber sehr darauf achten, dafs Tiefeneindrücke von der Erdoberfläche oder den Konturen der Wolken nicht allerlei Verzerrungen des Gewölbeeindruckes hervorrufen. Am Himmelsgewölbe läfst sich auch demonstrieren, dafs die vertikale Bewegung der Augen eine analoge Wirkung hat wie die oben geschilderte horizontale Bewegung.

Wir stellten noch einige Kontrollversuche für diesen ganzen Tatsachenkomplex am Haploskop an. Wir benutzen unsere Anordnung aus Teil I, Versuchsanordnung II und schauen zunächst nur mit dem rechten Auge auf den Schlitz des rechten Rahmens, der von den beiden Fäden geschnitten wird. Wenn wir den Rahmen bei 0^0 Konvergenz betrachten, da scheint die Ebene, die durch die Fäden geht, frontal zu sein. Drehen wir den Rahmen so, dafs das Auge etwa 10^0 nach rechts sehen mufs, so scheint die Fadenebene wiederum senkrecht zur Blicklinie zu stehen. Drehen wir den Rahmen so, dafs das Auge nach der Nase hin sehen mufs, so ist auch hier dieselbe Erscheinung zu beobachten. Sämtliche Vpn. (H., K. und R.) machten hier dieselbe Wahrnehmung (vielleicht riefen die schrägen Konturen der Spiegel gewisse Störungen hervor, aber das Phänomen war unbestreitbar deutlich). Arbeitet man nun mit beiden Augen zunächst in der Art, dafs man symmetrische Konvergenz anwendet, so bleibt stets die Kernebene frontal. Arbeitet man dann mit unsymmetrischer Konvergenz, so dafs z. B. das rechte Auge 10^0 nach rechts blickt, während das linke Auge mit 18^0 zur Nase zu blickt, so bleibt die Kernebene annähernd senkrecht zur Blickrichtung, allerdings nahm ich selbst und meine Versuchspersonen geringe Abweichungen zur senkrechten Lage, bald nach der einen, bald nach der anderen Richtung wahr. Aber diese Abweichungen sind unbedeutend und gegenüber den Grundtatsachen zu ver-

nachlässigen. Es wiederholen sich also im wesentlichen dieselben Erscheinungen wie beim einäugigen Sehen. Eine Besonderheit beim binokularen Sehen wurde von H., L. und K. bemerkt. Das Richtungsempfinden ist viel stärker als bei einäugigen Sehen. H. meint: „Bei einäugigem Sehen mufs man sich die Richtung erst denken, dagegen ist es bei zweiäugigem Sehen wie ein Strom, der von mir ausgeht". Meine Empfindungen und auch die von K. stimmen damit vollständig überein. R. schildert nur starke Empfindungen in den Augenmuskeln. Die resultierende Richtung, die mit beiden Augen empfunden wird, ist die mittlere Blickrichtung der beiden Augen. — Wir kommen demnach zu demselben Resultat wie JAENSCH in seinem Kapitel über orthogene Lokalisation. Wir zitieren ihn: „Wir sagen, dafs die verschiedenen Teile der Figur .... eine Tendenz zeigen .... auf der Blickrichtung, mittels deren sie betrachtet werden, senkrecht zu stehen. Wir können darum von einer „orthogenen Lokalisationstendenz" reden."

Diese orthogene Lokalisationstendenz kommt natürlich nur dann allein zur Geltung, wenn keine Querdisparation eintritt. Die Querdisparation ist die Ursache, dafs in einer Ebene angeordnete Stäbe bei binokularem Sehen nicht in einer konkaven Wölbung zu stehen scheinen. Das Zustandekommen von Querdisparation ist zunächst eine rein geometrische Frage. Das Entstehen derselben sei an Abb. 11 erläutert.

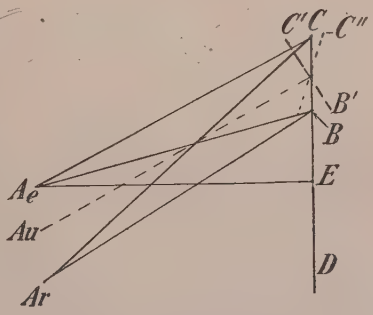


Abbildung 11.

CB sei ein Teil einer Ebene CD, die frontal vor den beiden Augen A_e und A_r steht. Dann sieht das Auge A_e den ebenen Streifen unter dem Winkel α_1, während das Auge A_r den Streifen unter dem etwas kleineren Winkel α_2 sieht. Es mufs also eine Querdisparation eintreten. Würde keine Querdisparation eintreten, so würde man den Ebenenstreifen wie C'B' wahrnehmen. Da aber Querdisparation eintritt, wird eine Störung der orthogenen Lokalisation eintreten und nach der bekannten Regel C'B' wieder in die Richtung etwa von CB gebracht werden. Bei grofser Nähe der Ebene CD wird die Querdisparation recht

beträchtliche Werte annehmen. Infolgedessen ist es möglich, dafs bei grofser Nähe und infolgedessen grofser Querdisparation die Ebene CB umgekehrt schräg erscheint wie C′B′, also durch C″ geht. Eine kurze Rechnung mag uns mit den Gröfsenordnungen von Querdisparationen, die wir zu erwarten haben, bekannt machen. Der Augenabstand sei 64 mm, CB sei 20 cm, AE sei 1 m, $\sphericalangle$ $CA_eE = 45^0$. Dann ist $\alpha_1 = 6^0\ 20'\ 25''$, $\alpha_2 = 5^0\ 56'\ 55''$. Die Differenz ergibt den beträchtlichen Winkel von 23′ 30″. Erst wenn das Ebenenstück CB etwa 16 m entfernt wäre, hörte die Querdisparation auf, merklich zu sein. d. h. die Winkeldifferenz bekommt den Wert von etwa 30″. Es mufs dann die orthogene Lokalisationstendenz nahezu allein zur Geltung kommen.

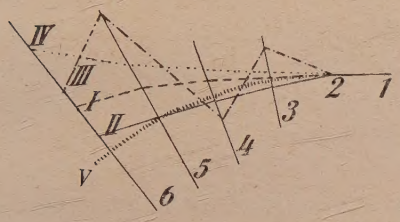
B. Die Versuche.

Nunmehr sind die theoretischen Vorbedingungen zum Verständnis unserer Versuchsreihe gegeben. In einem dunklen Zimmer mit tiefschwarzen Wänden wurden auf einem Tisch 6 senkrecht auf je einem Fufse angebrachte Stahlnadeln (ca. 30 cm lang) folgendermafsen gestellt. 2 von den Stahlnadeln wurden so aufgestellt, dafs sie frontal vor der Vp. standen. Der Abstand von der Vp. betrug 1 m, die Stäbe waren 15 cm voneinander entfernt. Um das linke Auge des Beschauers wurde ferner ein Kreis von 1 m Radius auf den Tisch gezogen (s. Fig. 12). Dieser Kreisbogen wurde auf der linken Seite von den beiden frontal stehenden Nadeln durch 4 Radien geschnitten, die an der Peripherie einen Abstand von je 15 cm hatten. An beliebige Stellen dieser Radien wurden die übrigen 4 Stahlnadeln gestellt. Auf alle 6 Stahlnadeln fällt von der Seite Licht. Die Lichtquelle wird dem Beobachter unsichtbar gemacht. Die Stahlnadeln wirken auf den Beobachter wie selbstleuchtende Stäbe. Sie wurden durch einen Schlitz beobachtet. Die Stäbe werden von rechts nach links gezählt.[1]

Nachdem alles so vorbereitet, erhält die Vp. die Instruktion, sie solle den Blick zwischen der Mitte von Stab 1 und 2 und der Mitte von Stab 2 und 3 hin und her wandern lassen und angeben, wie der Stab 3 gerückt werden mufs, damit die Ebene

[1] Nach den Erfahrungen im vorigen Kapitel hätte man vielleicht lieber einen hellen Hintergrund und weifse Stäbe nehmen sollen. Aber dabei wären störende Konturen des Schlitzes usw. sichtbar geworden.

zwischen 2 und 3 die Ebene zwischen 1 und 2 zu verlängern scheint. Ist dies geschehen, dann geht man zum Stab 4 über und läfst ihn so einstellen, dafs die Ebene 3—4 die Ebene 1—3 zu verlängern scheint usw., bis 1—6 eine Frontalebene vor der Vp. darstellt. Die Resultate dieser Einstellung ergeben sich aus der Figur. Die Stäbe wurden stets so angeordnet, dafs sie eine Kurve zwischen den Kurven I und II bildeten. K. und L. haben mehere Einstellungen gemacht. v. A. und H. machten mehrere Einstellungen an einer nicht ganz so vollkommenen Versuchsordnung. Sie bestätigten unsere Ergebnisse durchaus.[1]



I Ebenenkurve binokular von K.
II „ „ „ L.
III Krasser Fall einer Ebenenkurve von L. monokular.
IV Scheinbarer Verlauf einer mathematischen Ebene.
V Kreisbogen um das linke Auge des Beobachters.

Abbildung 12.
Kurven scheinbarer Ebenen bei 1 m Entfernung.
$^1/_{10}$ natürliche Gröfse.

Kurve III ist monokular und beweist, dafs kein sekundäres Kriterium neben der Querdisparation vorhanden ist. Die Stäbe werden wild durcheinander aufgestellt.

Fassen wir das Ergebnis zusammen: Eine flache Wölbung wird in der Nähe bei bewegtem Blick als eine Ebene empfunden und eine mathematische Ebene scheint konvex zu sein (vgl. Kurve IV). Kurve IV kann natürlich nicht quantitativ genau gezeichnet werden. Sämtliche Vpn. (A., H., K., L.) schilderten qualitativ den Eindruck eines konvexen Gewölbes. In grofser Entfernung mufs umgekehrt eine mathematische Ebene konkav erscheinen, weil dort das Gesetz der orthogenen Lokalisation durch Querdisparation nicht mehr gestört wird. Diese Erscheinung konnte ich im Psychologischen Institut infolge der Enge der Räume nicht mehr nachweisen, doch kann man sie im Freien an Gittern und Zäunen nachprüfen. Gerade Zäune, die in grofser Entfernung frontal vor dem Beobachter stehen, scheinen bei bewegtem Blick in einer konkaven Wölbung angeordnet zu

[1] Die qualitativen Erlebnisse stimmen mit den von Jaensch bei ähnlichen Anordnungen beschriebenen überein.

sein, ähnlich wie der Horizont. Dazwischen gibt es einen Wert, wo ein Gitter uns auch wirklich als gerade Ebene erscheint. Ich führte mit Vp. Kü. an dem Nordgitter der Berliner Universität einige Beobachtungen aus. In grofser Nähe erschien uns beiden das Gitter konvex gewölbt. Für mich im Abstand von 4 m und für Kü. im Abstand von 9—10 m erschien das Gitter eben. In gröfserer Entfernung entstand deutlich der Eindruck eines konkaven Gewölbes. An den äufsersten Seiten rechts und links trat wahrscheinlich durch Wirkung der Perspektive eine Abschwächung sowohl der konvexen wie der konkaven Krümmung ein.

Bei der Ähnlichkeit dieses Phänomens mit dem von Hering, Helmholtz und Hillebrand geschilderten Horopter-Phänomen müssen wir einmal auf die Verschiedenheit dieser beiden Erscheinungen hinweisen. Auch bei dem Hillebrand'schen Phänom ist es bekanntlich so, dafs eine Ebene einem Beobachter in der Nähe als konvexe Wölbung erscheint, in der Ferne aber als konkave Wirkung. Dazwischen liegt ein Wert, in dem die mathematische Ebene auch subjektiv als Ebene wahrgenommen wird. Dem gegenüber stehen aber beträchtliche Unterschiede.

Zunächst ist das Verhalten des Beobachters bei unserem Phänomen durchaus anders als bei Helmholtz-Hillebrand. Dort mufs der Beobachter ruhig den Mittelfaden fixieren. Bei unseren Versuchen dagegen mufs er den Blick über die ganze Ebene hin und her schweifen lassen. Dabei werden viel gröfsere Ebenenstücke erfafst, als man mit ruhendem Blick umfassen kann.

Ein weiterer Unterschied besteht in den Resultaten: Die Entfernung, in der eine mathematische Ebene auch als Ebene empfunden wird, liegt bei unserem Phänomen in etwa 4—10 m, dagegen bei Helmholtz-Hering-Hillebrand etwa in $^1/_2$ m (s. oben S. 17).

Ein fundamentaler Unterschied besteht auch in der Erklärung beider Phänome. Er wird besonders deutlich darin, dafs der Eindruck der konkaven Wölbung in der Ferne durch ganz andere Faktoren bei den beiden Phänomenen hervorgerufen wird. Bei Hillebrand kommt dieser Eindruck zustande gerade auf Grund des Vorhandenseins von Querdisparation beim Anschauen einer Ebene (s. unsere Messung auf S. 18 bei 1440 mm Abstand von den Augen und deren Auswertung ebenda). Bei unserem

Wölbungserlebnis ist der Grund das Nichtauftreten einer Querdisparation bei Seitlichwenden des Blickes. Ein extremer Fall ist das Himmelsgewölbe am Tage. Es hat überhaupt keine Punkte, die disparat in beiden Augen erscheinen können. Es erscheint monokular bei wanderndem Blick infolge der orthogenen Lokalisation genau so gewölbt wie binokular.

Sind irgendwelche Marken da auf dem Gewölbe, wie z. B. die Sterne in der Nacht, so können sich die beiden Phönomene ergänzen. Bei ruhendem Blick wird der vor einem stehende fixierte Stern unter gleich hellen Sternen zurücktreten infolge von Querdisparation auf Grund des Hillebrandschen Phänomens. Wird nun der Blick bewegt, so ordnet sich dieser Gewölbeeindurck nach Hillebrand dem Gewölbeeindruck infolge orthogener Lokalisation ein.

Wir hoffen, dafs diese Argumente genügen, um die Eigenartigkeit unseres Phänomens dem Helmholtz-Hering-Hillebrandschen gegenüber nachzuweisen und das Verhältnis der beiden zu kennzeichnen.

Eine Zusammenfassung der Resultate befindet sich am Anfang.

Lebenslauf.

Ich, Ernst Lau, evangelischer Konfession, wurde am 7. März 1893 zu Brünn in Mähren als Sohn des Fabrikdirektors Richard Lau und seiner Ehefrau Marie geb. Döring geboren. Nach dem frühen Tode meines Vaters besuchte ich in Berlin drei Klassen einer Volksschule und danach das Humboldt-Gymnasium, das ich im Oktober 1911 mit dem Reifezeugnis verließ.

Ich studierte in Berlin und Tübingen Theologie, Philosophie und Physik und besuchte Vorlesungen und Übungen bei den Herren: Deissmann, Erdmann, Gehrcke, Gressmann, Harnack, Holl, Lasson, Edv. Lehmann, Marckwald, Carl Müller, Poll, Rieffert, Riehl, Rubens, Rupp, Schmitz, Scholz, Stumpf, Troeltsch und Wertheimer.

Im ersten Jahre des Krieges war ich als Angehöriger des 201. Res.-Inf.-Regiments im Felde. Nach einer Erkrankung beschäftigte ich mich im Auftrage der Artillerie-Prüfungskommission in Gemeinschaft mit den Deutschen Telephon-Werken mit Problemen der drahtlosen Telegraphie.

Nach Beendigung des Krieges begann ich meine Arbeiten für die Dissertation.

Die Promotionsprüfnng bestand ich am 25. März 1920.

G. Pätz'sche Buchdr. Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.